

大型実験棟——設備と機能

竹本 靖 高橋 泰彦
吉岡 研三

Large Size Structure Testing Laboratory

—Facilities and Functions—

Yasushi Takemoto Yasuhiko Takahashi
Kenzo Yoshioka

Abstract

The facilities and activities of the new “Large Size Structure Testing Laboratory” built at the Technical Research Institute of Ohbayashi-Gumi, Ltd., Tokyo in 1971, are introduced in this paper. The outline of the laboratory, the specifications of special loading and measurement systems and some examples of test programs conducted are presented.

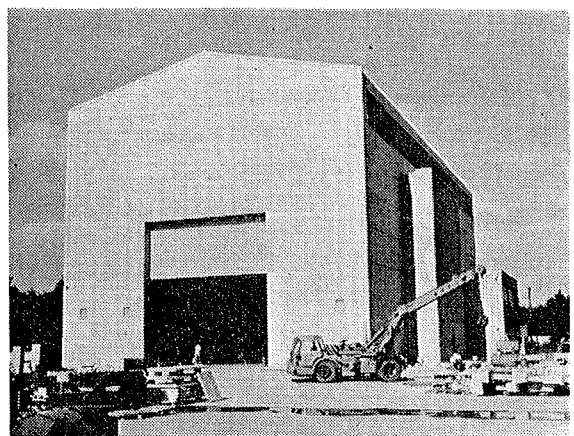
概 要

昭和46年7月、大林組技術研究所に開設された「大型構造物実験棟」の概略説明である。実験棟の施設とその性能について述べた他、付属の加力システムと計測システムの仕様を説明し、あわせて、これまでに実施された主な実験例を紹介している。

1. まえがき

超高層ビルや長大橋に象徴される、構造物の大型化と複雑化、設計技術の高度化といった時代の趨勢に呼応して、当技研内に大型構造物実験棟（以下、大型実験棟）が開設されてから約2年になるが、その活動状況は、まことに目覚ましいといえる。この期間中に消化した構造実験プログラムは、30件に達し、しかもその1/3は、他の実験施設を以ってしては実施不可能と思われる大スケールのものであった。このような実験処理能力は、担当研究員や実験助手らの努力もさることながら、当実験棟施設の、他に類を見ない規模と容量、および、特別に設計されたユニークな諸設備——特に「加力システム」と「計測システム」の働きに負うところが大きい。

ここでは、当大型実験棟の諸設備について、その仕様と性能を説明するとともに、これまでに実施された主な実験例を紹介することとする。



図—1 大型実験棟全景

2. 実験棟施設

2.1. 建物概要

図—1に、西側からの建物全景を掲げる。各階平面図と主要部断面図を、図—2、図—3に示す。

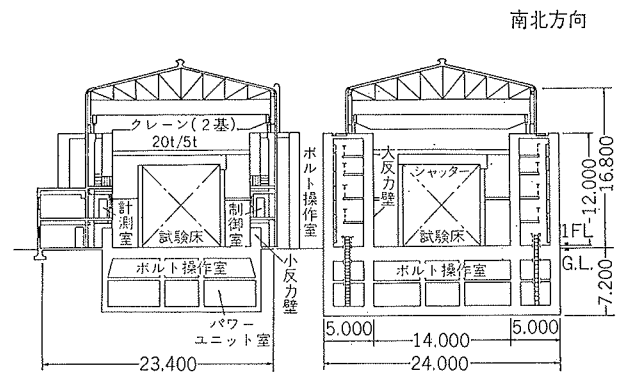
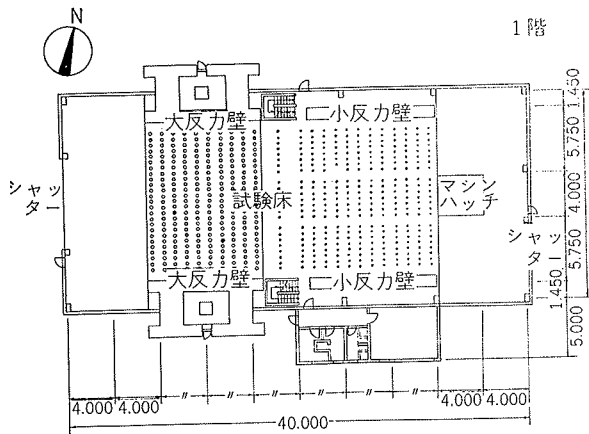
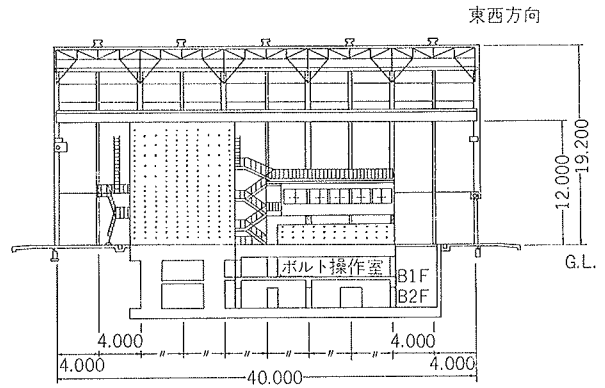
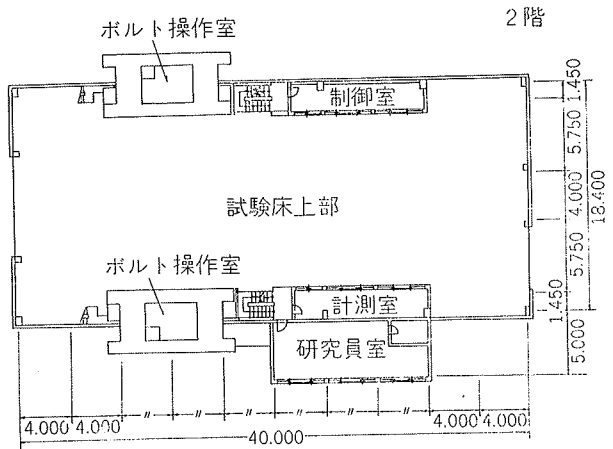


図-3 主要部断面図

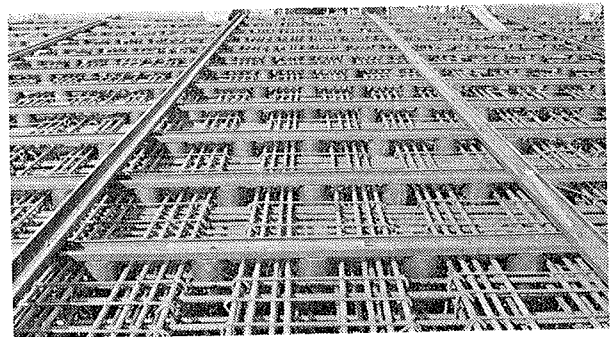
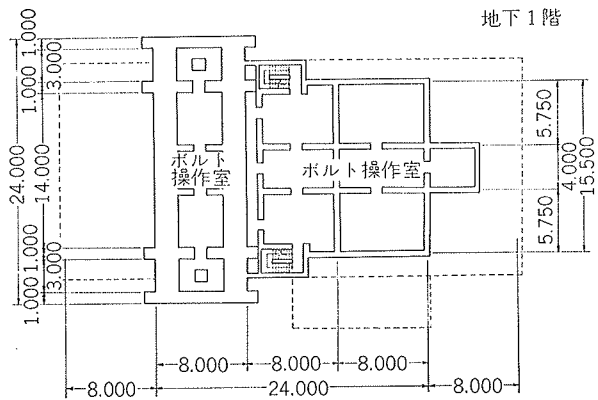


図-4 床ボルト孔用パイプの仮設支持

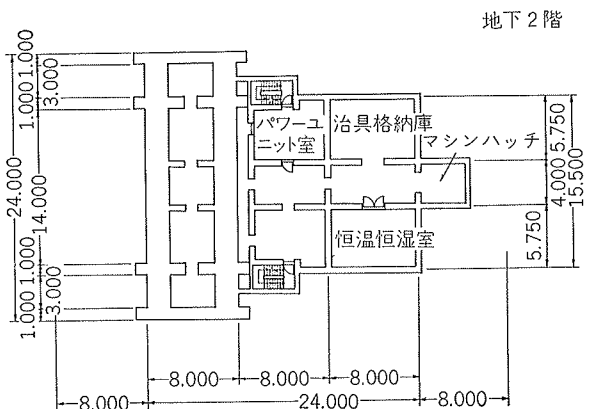


図-2 各階平面図

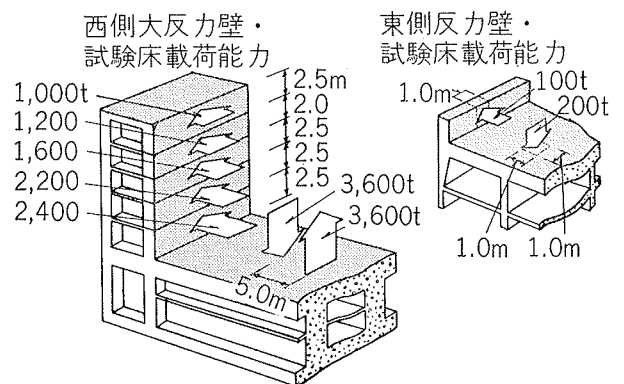


図-5 載荷能力図

この大型実験棟は、大小2組の鉄筋コンクリート造反力壁・試験床で構成される実験場と、それらを包む鉄骨造スレート貼りの上屋および附属建家からなっている。

地下2階は、加力システムのパワーユニット室、材料試験用恒温恒湿室および、各種治具の格納庫に当てられ、地下1階は、試験床用アンカーボルトの操作室であると同時に、天井面が、加力・計測システムおよび動力電源の固定配管・配線スペースに利用されている。

1階は、幅(南北)14m、長さ25mの範囲が試験床で、その東西両端に1スパンづつの作業床が続いている。試験床の南北両側には、高さ12m長さ10mの大反力壁(西)と、高さ2m長さ11mの小反力壁(東)が、それぞれ2基、向い合っていて、床と共に巨大な実験装置を形成している。1階から地下2階へは、マシンハッチを通して、天井クレーンにより重量物の搬出入ができるようになっている。

2階は、加力システムの制御室および、計測システムを納めた計測室からなる。制御室と計測室の屋上も見学者用のデッキとして利用される。大反力壁の裏側には、壁用アンカーボルトの操作室として、5層の床が設けられている。

2階建て附属家は、研究員室などに使われている。

2.2 実験場の性能

2.2.1 供試体などの固定方法 反力壁と試験床には、縦横に一定間隔(東西1.0m、南北・上下0.5m)で、貫通もしくはねじつきパイプを埋込んだアンカー孔が設けられ、供試体や載荷治具類をアンカーボルトで固定できるようになっている。これらアンカー孔はその部分に生ずる試験荷重反力を考慮して、1個につき、両反力壁：±50t、西側試験床：±200t、東側床：±100tにそれぞれ耐えるよう設計された。

これら床および壁のコンクリート工事計画において、アンカー孔の配置精度と、コンクリート表面の凹凸度が、実験作業計画に重大な影響を及ぼすものと問題になり、特製の仮設治具を用いるなどして、細心の注意の下に、施工されることとなった(図-4)。その結果、孔の配置精度は充分であったが、コンクリート面については、一部手直しを必要とした。なお、実際には、コンクリート供試体を床に固定するときには、念のため、均しモルタルを敷くようにしている。

2.2.2 載荷能力 西側大反力壁部分は、主としてせいの高い、大型のフレーム、壁あるいは塔状の供試体に、左右から大きい荷重や変形を与えることを目的としており、一方からの最大荷重は、高さに応じて、

図-5のように決めている。この値を曲げモーメントで表わすと、両側壁を同時に働かせたとして、最大値：20,000t・m、せん断力にして5,000tとなり、現存するこの種の装置では、世界最大である。このような大荷重に対して構造体にひび割れが生じないように、大反力壁と同部分試験床には、図-6に示す要領で、コンクリートに約35kg/cm²のプレストレスが導入してある。使用材料は、鋼材：4種PC鋼棒33φ、1本につき導入力約60t、コンクリート：設計規準強度F₂₈=300kg/cm²である¹⁾。

東側小反力壁部分は、平面的な広がりを持つ供試体や、小規模の実験を多数処理するのに適している。

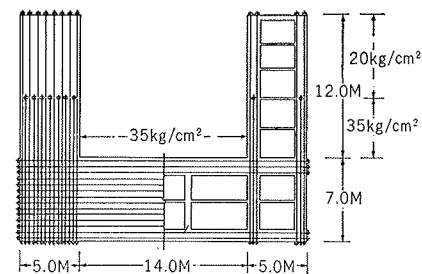


図-6 プレストレッシング図

2.3 附属設備

この大型実験棟では、取扱う対象が、サイズ・重量とも、実験室的スケールを越えたものとなることが多いので、供試体や各種治具の格納・運搬・据付・載荷および計測の各段階を通じて、できるだけ自動化、システム化を計ると共に、使用目的に合った特殊な機械や工具を開発して、作業の安全化と、能率化、省力化をもくろんでいる。次章以下に述べる加力および計測システムは、その代表例であるが、その他にも、主として次のような機械類が、備えられている。

- 天井走行クレーン：20/5t、19mスパン、2基。
- ボルトテンショナー：試験体などの固定用アンカーボルトに、所定の緊張力を与えナットを締める油圧装置。50, 100, 200t各ボルト用に各1台。
- プレートリフター：地下ボルト操作室で、アンカープレートを運搬・揚重する車輪つき空気ジャッキ。
- 迂り支承：後述する大アクチュエーターの後部圧盤と、壁の間にとりつけて、供試体の変形に伴って生ずるアクチュエーターの側方への移動を可能とする治具。圧力を受ける迂り面には、テフロン樹脂を貼って、摩擦係数を小さくしてある。
- 水密試験用配水管：建造物の性能試験の一つとして圧力水の吹きつけによる水密性の試験が行えるように、床上7mの高さに水道配管が施されている。

3. 加力システム

大型実験棟における、反力壁、試験床、または試験枠組を用いた多様な実験に供するため、荷重制御、変位制御等を含む数台のアクチュエーターの連携作動による「加力システム」が開発された。

3.1. 加力システムの構成

この加力システムは、主としてアクチュエーター、分配器、油圧源、制御装置・ロードインジケーター、ロードプリンターにより構成される。各装置は図-10に示すように、油圧系統はアクチュエーターから分配器を通じて地下の油圧源に、制御系統はアクチュエーターから分配器を通じて制御盤へ連結され、更に油圧源に連結される。制御盤で指定された荷重および変形（ストローク）は、ロードインジケーターを経てロードプリンターにより印字される。

3.1.1. アクチュエーター アクチュエーターは図-8に示すように、大小2種からなり、いずれも圧縮、引張の複動形である。

300 t アクチュエーター（島津製作所製）5台	
容量	圧縮300 t 引張100 t
ストローク	750mm（±375mm）
負荷速度	最大 50mm/min
50 t アクチュエーター（島津製作所製）2台	
容量	圧縮 50 t 引張 50 t
ストローク	300mm（±150mm）
負荷速度	最大 50mm/min

300 t アクチュエーターでは、荷重は油圧により検出し、荷重レンジは圧縮300 t, 150 t, 60 t, 引張100 t, 50 t, 20 tである。また 150 t, 60 tレンジにて±100 t, ±40 tの載荷も可能である。

ラムストロークの検出にはポテンシオメーターを用い、750mm, 100mmの切替が可能である。

50 t アクチュエーターの場合、荷重は頭部につけた圧縮、引張両用のロードセルによって検出する。変位計はポテンシオメーターを用いている。

3.1.2. 油圧源（パワーユニット）と分配器 油圧源の仕様を下記に示す。

吐出量	38 l/min
吐出圧力	最大 250 kg/cm ² , 常用 210 kg/cm ²
油圧ポンプ	7連ピストンポンプ

油圧源は、実験棟の地下2階に設置したので、アクチュエーターと油圧源の連結は実験場内の2カ所に設置された分配器により行なう。この分配器は油圧系統ばかりでなく、アクチュエーターと制御装置との電気系統の連結も行なっている。

3.1.3. 制御装置とロードインジケーター 制御装置は、制御盤（荷重および変位設定盤、制御動作設定盤、荷重用圧力セルアンプ、変位検出器アンプ、サーボ弁用アンプ等）と、計録計よりなり、300 t アクチュエーターに対し、各々1台計5台の制御装置がある。連携制御は、No. 1 アクチュエーターの制御装置が5台全部の制御を行ない、No. 5 が No. 1 以外の任意のアクチュエーターとの連携制御を行なえる。このため2種の並行実験が可能となっている。

50 t アクチュエーターの制御装置は、300 t アクチュエーター No. 1, No. 2 の制御装置を用いて行なう。

制御盤で指定された荷重あるいは変位は、ロードインジケーターにデジタル量で表示され、ロードプリンターによって記録される。

これらの装置は実験場を見渡せる制御室に設置されている（図-9）。

3.2. 制御の種類

各単独のジャッキと制御装置を用いて手動で加力するほか、次のような自動、連携制御が行なえる。

3.2.1. 基本自動制御

- 1) 荷重（変位）速度一定制御
- 2) 荷重（変位）一定制御
- 3) 荷重（変位）サイクリング制御

3.2.2. 応用自動制御

- 1) 荷重（変位）速度一定制御より変位（荷重）一定制御への切替え
- 2) 荷重（変位）速度一定制御より変位（荷重）速度一定制御への切替え。ただしいったん変位（荷重）一定切替え後行なう。
- 3) 荷重（変位）一定制御より変位（荷重）一定制御への切替え

3.2.3. 連携基本自動制御 主制御器は5台用（No. 1）、4台用（No. 5）で、1台の主アクチュエーターを基準として、載荷割合を一定に保持させる。

- 1) 荷重（変位）増加比一定制御
- 2) 荷重（変位）比一定制御
- 3) 荷重（変位）比率一定サイクリング制御

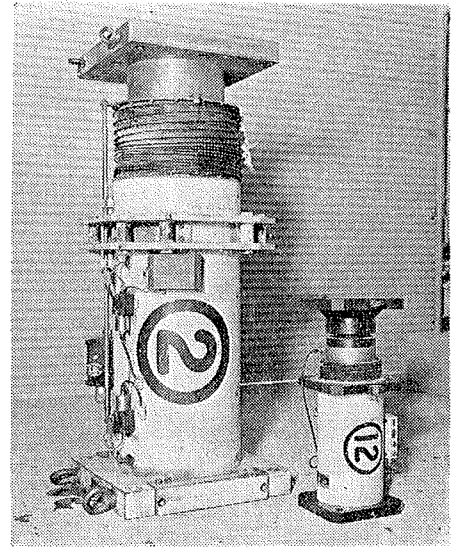
3.2.4. 連携応用自動制御

- 1) 荷重（変位）比率一定制御より変位（荷重）一定制御〔各々の変位値（荷重値）で〕への切替え
- 2) 荷重（変位）比一定試験より変位（荷重）一定制御〔各々の変位値（荷重値）で〕への切替え

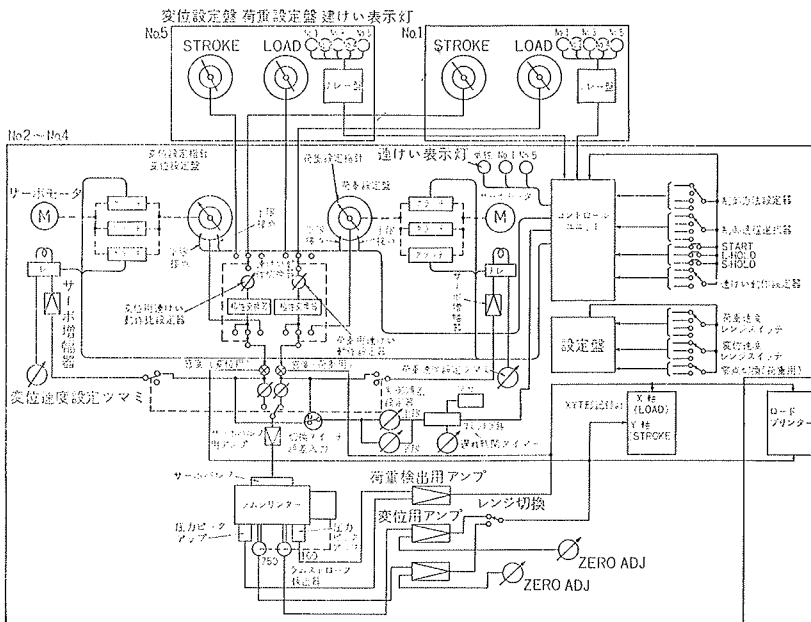
以上のような制御の原理を図-7に示す。

3.3 システムの問題点

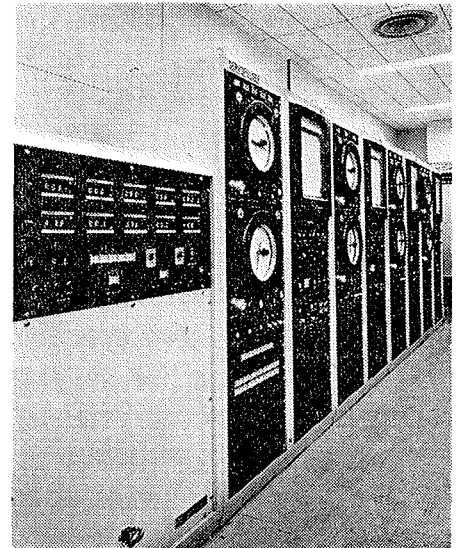
- 1) サーボコントロールの精度を守るため、油圧を低く抑えた結果、シリンダー径が大きくなり、重量もかさんで、取扱いが不便となった。
 - 2) 制御が複雑なので操作に熟練者が必要である。
 - 3) 変位検出は、試験体の変位をラムストロークの代りに入力する方がよい。また検長の長い場合にも高精度の分解能を有する変位計を用いるのが望ましい。
 - 4) 300 t アクチュエーターでの荷重検出は差圧方式によっているが、精度に若干問題がある。
- 上記の2), 3)については、改良を検討中である。



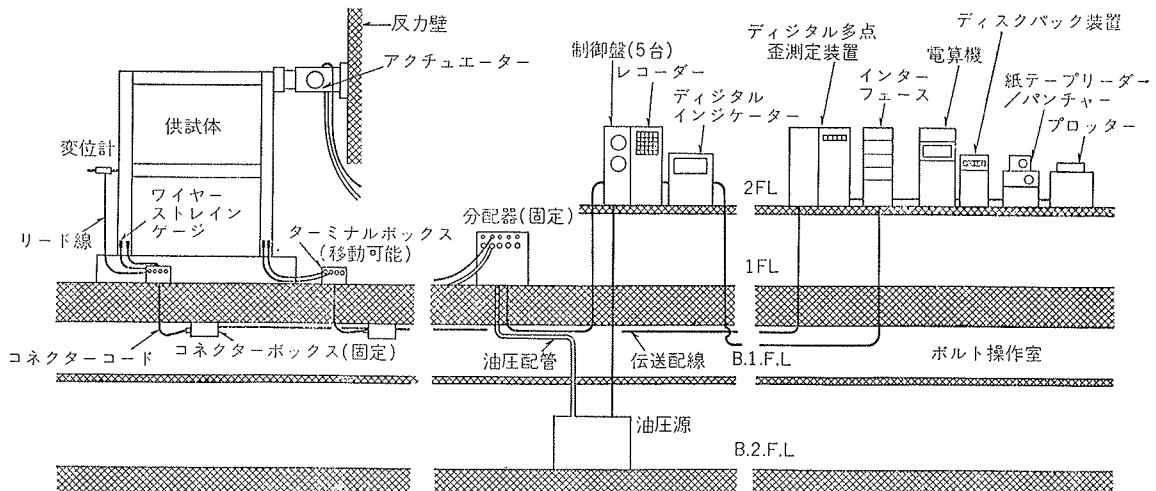
図—8 アクチュエーター



図—7 制御系統ブロック図



図—9 制御装置



図—10 加力システム、計測システム系統図

4. 計測システム

4.1. 計測システムの構成

計測システムは図-10のように、供試体から計測室まで歪データと荷重データを送る配線と、計測室内のデータ収集、データ処理の装置とコントロールプログラムで構成されている。図-13は地階天井のデータ伝送配線の1部を示し、図-12は計測室内の全景で、手前から、多点デジタル測定装置（共和電業）、磁気ディスク装置、紙テープリーダーとパンチャー、タイプライター（以上、日本電気）で、最後列左から、電算機（NEAC 3200）、インターフェース、プロッター（渡辺測器）である。

このシステムは、供試体にとりつけたデータ検出器を伝送配線の末端につなぎ、電算機にインプットデータを入力すれば、プログラムが作動し、荷重制御ボタンの装作だけで自動的に必要なデータを収集する。また、実験後には電算機の操作のみでデータ処理ができる。

以下、計測システムのデータ伝送、データ収集、データ処理の機能について説明する。

4.2. データ伝送

供試体にとりつけたストレインゲージ、ロードセル、変位計などのデータ検出器から計測器にデータを伝送する配線の機能で、図-11にデータの流れを示す。

大型実験棟地階の天井には、コネクタボックスと呼ばれる9個の中継箱（図-13）が基板の目のように設置されている。その箱の1端は多芯ケーブルによって計測室内の多点デジタル歪測定装置につながり、他端はコネクタコードのプラグを差込むためのソケットとなっている。従って、供試体にとりつけたデータ検出器をリード線で試験床上中継箱（ターミナルボックス）に接続し、さらに、その箱をコネクタコードでコネクタボックスにつなげば自動的に計測室につながるシステムとなっている。コネクタコードより先は持ち運び可能な配線で、最も供試体に近い場所に設置できる。

また、加力システムから荷重データを伝送する配線も別途に地階天井に敷設した。

4.3. データ収集

実験時にデータを収集し、記憶するシステムで、初定の荷重に達した時に加力システム制御ボタンを押すと同時に、荷重データ、歪データの順に計測が開始される。

歪データは図-11の如く、伝送配線を通り、多点デジタル歪測定装置に入る。データはそこでデジタル

化され、インターフェースから電算機に入った後、ディスクに記憶される。荷重データも同様な経路をたどり記憶される。

このようなデータの収集が実験の各荷重段階ごとに繰り返されるが、実験中のデータチェックのために、ディスク内に記憶されたデータの中から、10データをタイプアウトし、4データをプロッターで作図する。この際、出力するデータには電算機で計算処理を行うことができる。

データ収集はあらかじめロードされているプログラムによって実行されるが、実験に先だちタイプライターで次のインプットデータを入力する必要がある。

- 1) 実験名称、供試体名称、担当者、実験期日
- 2) 加力システムと歪測定装置の計測番号
- 3) 測定したデータの符号変換の有無
- 4) 降伏歪み量
- 5) 計算処理する計測番号と計算方法
- 6) プロッターで作図する計測番号と座標軸
- 7) タイプライターで作表する計測番号

2)はデータの取捨選択を行い、必要なデータのみ記憶するためのインプットであり、3)はデータ処理に必要な測定値の符号変換の指定である。また、4)を指定すれば、測定値がその値以上になった時にメッセージがタイプアウトされる。これでも実験中にデータチェックをすることができる。5)、6)、7)はモニター用のデータ解析、作図、作表の指令である。

この他に、このプログラムでは、実験初期のデータの零調整が実行されることはもちろん、変位計などの盛替によるデータの修正も任意の時にできる。また、2種類の実験を並行して実施する場合でも、両方のデータを測定できるように考慮されている。

4.4. データ処理

実験終了後、ディスク内のデータを順次とりだし、データの解析、作図、作表を完全自動で行うシステム（図-11）で、電算機にデータ処理用プログラムをロードし、次のようなインプットデータを入力することによってスタートする。

- 1) 実験名称、試験体名称、担当者、データ処理日
- 2) 解析する計測番号と計算方法
- 3) プロッターで作図する計測番号と座標軸
- 4) タイプライターで作表する計測番号

可能な計算方法は $\sum \varepsilon_j$ (ε_j : 計測データ)、 $\alpha \times \varepsilon_j$ 、 $\varepsilon_i - \varepsilon_j$ 、 $\sum \varepsilon_j/n$ 、と主応力計算で、これらの式の組合わせにより、あらゆるデータ解析ができる。また、計算結果にも新しい番号が付き、計測番号と同様に解析、作図、作表ができる。

プロッターの作図では、X軸、Y軸となる計測番号と、両軸の上限値、および、座標原点の位置を指定することにより、どのような形式のグラフも書くことができる。また、1枚のグラフが終了すると自動的に紙または、送りをして、次のグラフに移る。

タイプライターの作表では、打出し順に計測番号を指定すると、たて方向が荷重段階、横方向が計測番号または、解析結果の一覧表ができあがる。

なお、データ処理に先だち、ディスク内に記憶されたデータの1部を修正することもできる。

4.5. システムの問題点

計測作業のシステム化を計ることにより、

- a) 実験期間の短縮と省力化
- b) データ処理の時間の短縮と省力化
- c) 計測専門員を必要としなくなる

などの初期の目的を十分に満足することがわかった。今迄の使用例によると、従来の方法に比べ、実験期間が1/2~1/3に、データ処理時間は1/30~1/50に短縮できるようである。ただし、伝送データの安定性や、システム構成要素のトラブルなどに問題がないわけではなく、今後とも、改良を進めていく予定である。

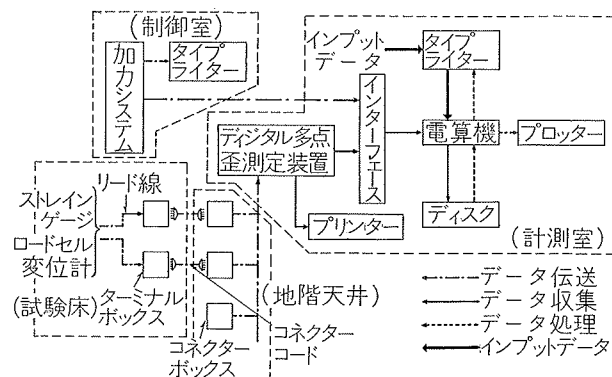


図-11 計測システム系統図

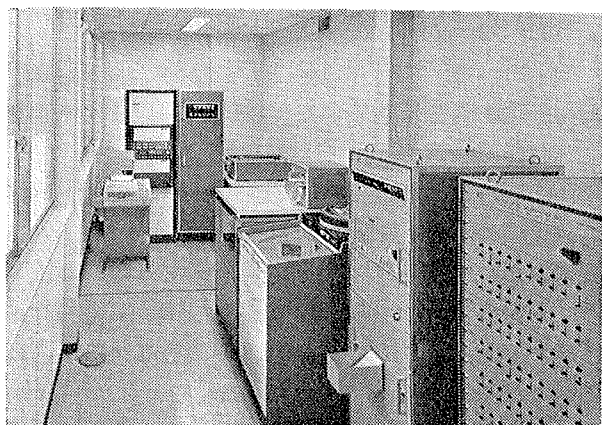


図-12 計測室内の全景

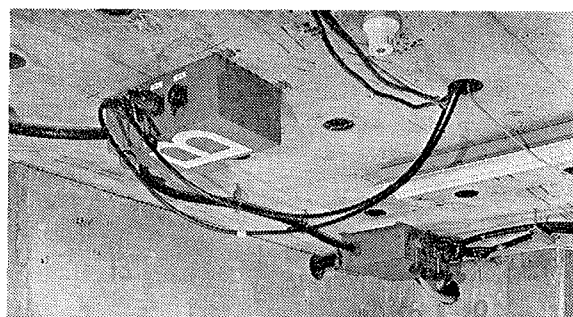


図-13 データ伝送配線

5. 各種実験例

48年3月までに当大型実験棟で行われた、構造物の諸実験のうち、規模・方法の点で代表的と思われる数例を、以下に簡単に紹介する。

図-14：大阪大林ビルで用いた鉄板耐震壁の、縮尺3/4、2層分の模型を、試験床に寝かせ、柱脚部をコンクリート製の反力ブロック（床にボルトで固定）に固定し、同じく反力ブロックから、ジャッキで、頭部に、くり返し荷重を与えた²⁾。

図-15：市街地高層住宅の、プレキャストコンクリート耐震壁実大模型（2層分）を、大反力壁の間に立て、左右から、前記アクチュエーター2台ずつで、多数回、くり返し載荷した³⁾。

図-16：プレファブ高層住宅 OHS 工法に用いるブレース入りプレキャスト耐震壁の、実大模型による左右くり返し載荷試験である。

図-17：実際に土中で打設して掘り出したソレタンシュ壁と、あと打ちつなぎばりとの偏心接合面に、せん断力を与えるよう、頭部に1台のアクチュエーターで、押し引きくり返し載荷をしたもの⁴⁾。

図-18：実大の、鉄骨はりどデッキプレートスラブの合成ばり模型に、床上に組まれた載荷フレームからアクチュエーターで、正負曲げ荷重を与えた⁵⁾。

図-19：鉄筋継手の新工法グリップジョイントの性状に関する実験で、試験床に固定した中央のブロックから、両側へキャンティレバーの供試体を突き出し、両端に同時に、小型アクチュエーターで、正負曲げせん断くり返し載荷を行った。

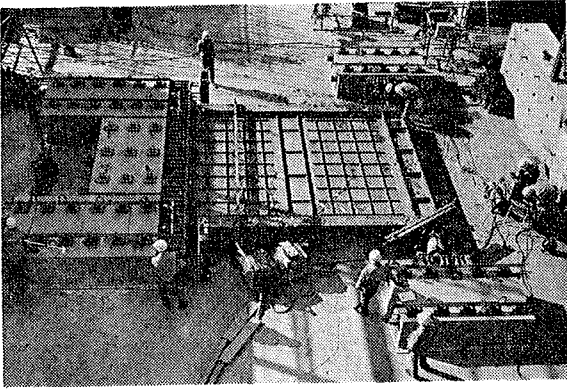


図-14 鉄板耐震壁

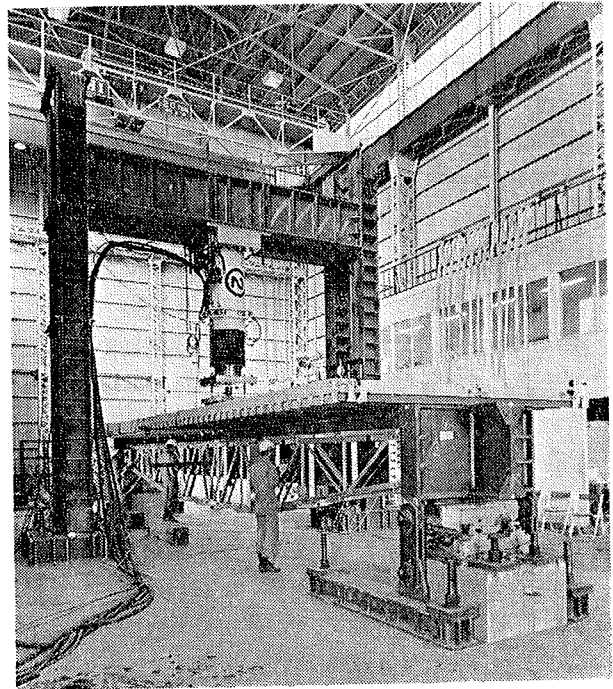


図-18 合成ばり

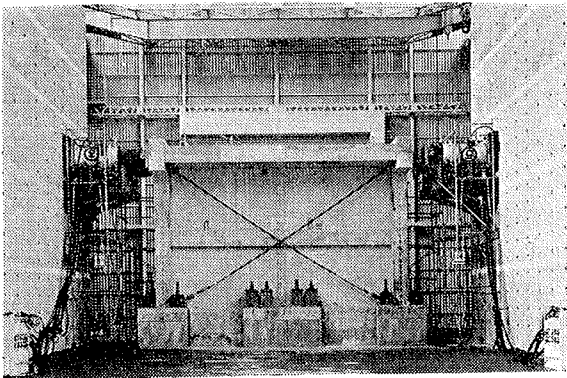


図-15 プレキャスト耐震壁

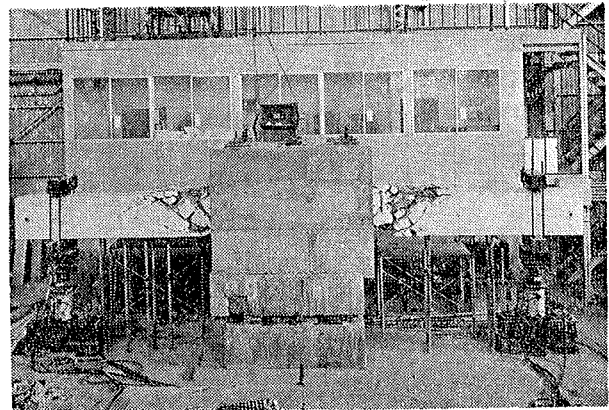


図-19 グリップジョイントばり

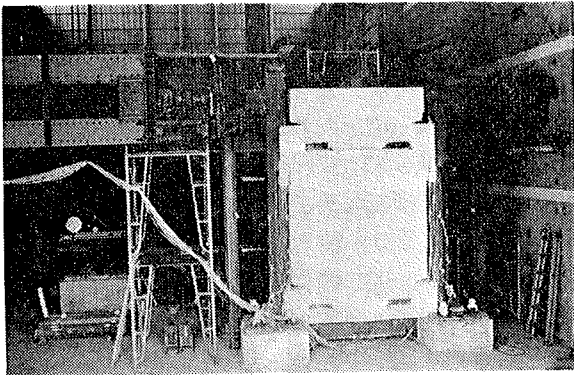


図-16 プレース入り耐震壁

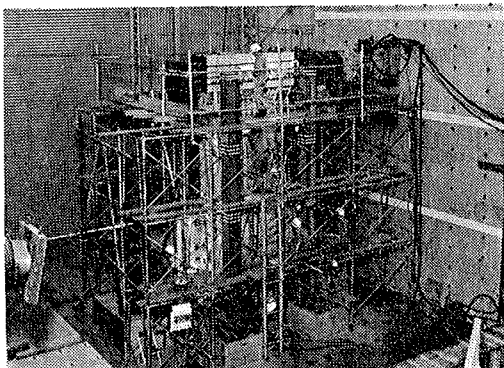


図-17 ソレタンシュ壁

参考文献

- 1) Nakane 他：On Statistical Quality Control of High Strength Concrete, 大林組技研報 No. 6 (1972)
- 2) 鉄板耐震壁開発グループ：鉄板耐震壁の開発研究, 大林組技研報 No. 5 (1971)
- 3) 吉岡他：実大軽量コンクリートプレキャスト耐震壁の多数回繰り返し水平加力試験, 同上 No. 6 (1972)
- 4) 小島他：鉄筋コンクリート連続耐震壁に関する実験的研究, その7, 建築学会昭和47年度大会学術講演梗概集 (1972)
- 5) 江戸他：合成ばりの実大試験, その1～3, 建築学会関東支部第43回研究発表梗概集 (1973)